

10种市售鸡肉香精的挥发性风味化合物分析

赵谋明, 蔡宇, 曹永, 冯云子

(华南理工大学轻工与食品学院, 广东广州 510640)

摘要: 为了研究市售鸡肉香精的香气组成, 本文通过顶空-固相微萃取(HS-SPME)与气相色谱-质谱联用(GC-MS)分析10种商业样品, 共检出挥发性化合物131种。其中, 萜类、醛类和含硫化合物检出种类最多, 分别有25、28和29种, 另外, 检出化合物还包括酯、呋喃(酮)、酮、吡嗪、酚、醇、酸类等。不同香精其香气组成差异较大, 以香气组成最复杂的香精为代表, 首次通过气相色谱-嗅闻检测技术(GC-O)剖析鸡肉香精的香气组成, 共检出香气活性化合物30种。其中代表性香气活性物质及其主要香型分类如下: 主体肉香(甲基(2-甲基-3-呋喃基)二硫醚、甲基糠基二硫醚)、特征脂肪香((E,E)-2,4-庚二烯醛、(E,E)-2,4-壬二烯醛)、葱蒜香(二甲基三硫、二烯丙基二硫醚)、辛香(4-甲氧基苯甲醛、4-乙基愈创木酚)、烘烤香(3-甲基硫丙醛)、甜香(2,4-二氢-2,5-二甲基-3(2H)-呋喃酮、4-羟基-2,5-二甲基-3(2H)-呋喃酮)、酸香(乙酸)和奶香(2,3-丁二酮)。

关键词: 鸡肉香精; 顶空-固相微萃取; 气相色谱-质谱联用; 气相色谱-嗅闻检测技术; 风味活性化合物

文章编号: 1673-9078(2016)9-275-286

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2016.9.040

Analysis of Volatile Flavor Compounds in Ten Commercial Chicken Flavors

ZHAO Mou-ming, CAI Yu, CAO Yong, FENG Yun-zi

(College of Light Industry and Food Sciences, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: In order to study the aroma compositions of commercial chicken flavors, headspace-solid phase microextraction (HS-SPME) coupled with gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) was used to analyze ten commercial products. A total of 131 compounds were identified with various types of the same compound, such as sulfur-containing compounds (29), terpenes (28), and aldehydes (25), followed by esters, furan(ones), ketones, pyrazines, phenols, acids, and alcohols. Significant differences in the aroma composition were observed among these different chicken flavors. The flavor with the most complex aroma composition was used as the representative sample to study the aroma profiles of chicken flavor using gas chromatography-olfactometry (GC-O), and thirty aroma-active compounds were detected. The representative aroma-active compounds and their corresponding aroma types were classified as follows: meat-like flavors (2-methyl-3-furyl) disulfide and 2-[(methylthio) methyl] furan, characteristic fat flavors ((E,E)-2,4-heptadienal and (E,E)-2,4-nonadienal), alliaceous flavor (dimethyl trisulfide and diallyl disulfide), spicy flavor (4-methoxybenzaldehyde and 4-ethyl-2-methoxyphenol), roasted flavor (3-(methylthio) propanal), caramel-like flavor (2,4-dihydro-2,5-dimethyl-3(2H)-furanone and 2,5-dimethyl-4-hydroxy-3(2H)-furanone), sour flavor (acetic acid), and milk flavor (2,3-butanedione).

Key words: chicken flavor; headspace-solid phase microextraction; gas chromatography-mass spectrometry; gas chromatography-olfactometry; aroma-active compounds

鸡肉香精是最重要的咸味香精之一, 鸡肉香味经典, 且民众对鸡肉食品的热衷程度高。近年来随着咸味香精的市场日益扩大, 鸡肉香精在方便面、调味品、餐饮业、休闲食品等领域有着越来越重要的地位^[1]。

收稿日期: 2015-07-23

基金项目: 广东省产学研合作关键技术产业化重大专题(2014A01006)

作者简介: 赵谋明(1964-), 男, 博士生导师, 教授, 研究方向: 食品生物技术

通讯作者: 冯云子(1987-), 女, 博士, 研究方向: 食品生物技术和风味化学

鸡肉香精按生产技术可划分为蛋白质酶解香精、脂肪氧化香精、热反应香精和调配香精; 根据香精形态的不同, 又可划分为膏状、液体和粉末状香精^[2]。调配液体香精一般头香突出, 可直接用于食品加香, 也可用于加强膏状香精的头香, 或添加填充物对其包埋而形成微胶囊粉末香精^[3]。然而, 众多香精生产技术中, 调香技术是国内香精生产最薄弱的环节^[1], 因此, 选择合适的方法分析鸡肉香精的香气组成, 从而为液体鸡肉香精的调配提供参考是十分必要的。

香精风味的常用分析方法主要有: 直接溶剂萃取

法^[4]、同时蒸馏萃取法^[5-6]、顶空-固相微萃取法(HS-SPME)^[7-8]，其中HS-SPME集采样、萃取、进样一体，无需溶剂且灵敏度高^[8]，尤其适用于液体香精的香气分析。钱敏^[9]等对比分析了SPME三种萃取头对肉味香精的萃取效果，并进一步对比了直接萃取和顶空萃取的效果，结果表明采用CAR/PDMS的顶空固相微萃取萃取效果最佳。焦慧^[10]等通过HS-SPME与GC-MS联用，对比分析市售鸡肉、猪肉、牛肉和羊肉香精，发现(E,E)-2,4-庚二烯醛、(E,E)-2,4-癸二烯醛是鸡肉香精中特有的香气成分。除咸味香精外，SPME-GC-MS技术在烟用香精^[11]和奶味香精^[12]的分析上也有所应用。

气相色谱-嗅闻检测技术(GC-O)结合仪器与感官分析，能够有效地从众多挥发性化合物中筛选出真正对整体香气有重要贡献作用的物质，已经被广泛应用于各类食品的风味分析中^[8]。国外研究人员早在1990年就开始采用GC-O技术分析了鸡汤风味^[13]，此后，GC-O又陆续应用于蒸煮鸡肉^[14]、高压鸡肉制品^[15]、冷藏鸡肉^[16]、鸡肉氧化产生的不良风味^[17]等研究中。该技术的引入使得鸡肉风味的研究获得重大突破，然而，GC-O技术在国内肉类风味研究中的应用依旧不多，香精分析中的应用更是鲜有。

本文采用HS-SPME和GC-MS联用分析10种市售液体鸡肉香精的挥发性化合物，探讨了市售鸡肉香精的香气组成及其差异。首次采用GC-O技术分析鸡肉香精样品，通过代表样品剖析市售液体鸡肉香精的香气组成，探讨香气活性化合物在鸡肉香精中的作用，为液体鸡肉香精的调配、生产及深入研究提供研究方法及其理论依据。

1 材料与方法

1.1 原料

市售品牌A不同香韵鸡肉香精6种(编号1~6，分别为姜葱香、豉油香、烤香、鸡肉香、鸡汤香和鸡油香香型)、品牌B鸡肉香精(编号7，鸡汤香型)、品牌C鸡肉香精(编号8~10，分别为鸡汤香、鸡油香和鸡肉香香型)，10种香精样品均为油溶性液体香精，香精样品全部从该品牌香精香料公司直接获取。

1.2 仪器和试剂

气相色谱-质谱联用仪(Thermo Finnigan Trace DSQ II)，三合一自动进样器，嗅闻仪(ODO II，澳大利亚SGE公司)，75 μm CAR/PDMS 固相微萃取头(美国Supelco公司)；C6-C33正构烷烃标准品购于Sigma

(上海)有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 挥发性化合物的萃取^[8]

将50 μL 香精样品装入20 mL 顶空瓶中，45 °C下平衡20 min，然后以75 μm CAR/PDMS 萃取头萃取40 min (45 °C)。待萃取结束后，250 °C下在GC进样口解析3 min。两个样品间萃取头以270 °C老化10 min，以防止样品间相互污染。

1.3.2 GC-MS 条件^[8]

样品通过TR-5ms (30 m×0.25 mm×0.25 μm) 弹性石英毛细色谱柱进行分离；载气为高纯氦气(1.0 mL/min)；分流比10:1；程序升温条件：起始温度40 °C，以5 °C每分钟升到120 °C，保持2 min，再以7 °C每分钟升至220 °C，保持5 min。

质谱条件：电子轰击电离(EI)离子源，电子能量70 eV；电子倍增器电压350 V；离子源温度230 °C；传输线温度250 °C；质量范围35~350 m/z；扫描速度3.00 s⁻¹。

1.3.3 GC-O 分析方法^[8]

GC-O 实验由三名有经验的感官评价人员完成，每个样品至少经由每位感官评价人员嗅闻3次。嗅闻仪以氦气作为载气(3 mL/min)，辅以湿热空气，从而缓解感官评价人员因鼻粘膜干燥引起的不适。另有一名有经验的实验人员记录感官评价人员嗅闻过程中对香气特征及强度的描述，只有被两名以上的评价人员在同一保留时间闻到并具有相似描述的香气，才认为该处化合物具有香气活性。香气强度评分以1~3分表示：1为微弱的，可识别的味道；2为清晰，但不强烈的味道；3为强烈的味道。最终该化合物的香气强度评分由感官评价人员评分的平均值表示。

1.3.4 风味化合物的定性与定量

气相色谱-质谱数据采用Xcalibur 2.0软件进行分析处理，化合物通过NIST08和WILEY谱库的检索(正、反匹配度均大于750)得到初步定性结果，随后通过NIST MS Search 2.0软件中内置谱库和“NIST Chemistry WebBook”在线谱库中文献所报道的标准物质科瓦茨保留指数(Retention Index, RI)与实验计算得到的RI值进行对比，完成化合物的定性分析(计算值与文献报道值正负偏差小于20)。RI值通过正构烷烃(C6~C33)计算得到，计算公式如下。

$$RI = 100 \times \left[n + \frac{t(a) - t(n)}{t(n+1) - t(n)} \right]$$

式中：t(a)为待测组分a的保留时间；n和n+1分别为待测组分a流出前后正构烷烃碳原子数，t(n)和t(n+1)分别为具有

n 和 n+1 个碳原子的正构烷烃的保留时间。

化合物相对峰面积通过峰面积归一化法计算。

2 结果与讨论

2.1 鸡肉香精中挥发性化合物的 GC-MS 结果

分析

10 种鸡肉香精中共检测到 131 种挥发性化合物, 其中醇类 2 种、醛类 25 种、酸类 3 种、酯类 12 种、酮类 7 种、酚类 4 种、吡嗪类 6 种、呋喃(酮)类 10 种、含硫化合物 29 种、萜类化合物 28 种及其他类 5 种, 如表 1 所示。不同香精样品之间化合物组成的差异较大, 其中 7 号鸡肉香精所检出的化合物数量最多, 有 62 个挥发性物质; 而 3 号样品的挥发性物质数量最少, 仅有 11 种。

表1 鸡肉香精中挥发性化合物分析

Table 1 Analysis of the volatile compounds in chicken flavor

RI	化合物	CAS 号	m/z	面积百分比/%			
				1	2	3	4
	醇 (2)						
<600	乙醇 ^a	64-17-5	45(43,46)	2.81	1.37	0.16	1.83
984	1-辛烯-3-醇 ^a	3391-86-4	57(43,72)	-	-	-	-
	醛 (25)						
<600	乙醛 ^a	75-07-0	44(42,43)	-	-	-	1.54
<600	2-丙烯醛 ^a	107-02-8	55(56,57)	-	-	-	0.25
696	戊醛 ^a	110-62-3	44(41,58)	-	-	-	-
799	己醛 ^a	66-25-1	44(56,57)	0.05	1.67	0.33	-
860	(E)-2-己烯醛 ^a	6728-26-3	41(55,69)	-	-	-	-
904	庚醛 ^a	111-71-7	70(43,44)	-	-	-	-
972	苯甲醛 ^a	100-52-7	106(77,105)	2.98	7.13	9.18	1.28
1003	(E,Z)-2,4-庚二烯醛 ^a	5910-85-0	81(43,110)	-	-	-	1.34
1018	(E,E)-2,4-庚二烯醛 ^a	4313-03-5	81(43,110)	-	-	-	13.76
1055	2-羟基苯甲醛 ^a	90-02-8	121(65,122)	-	-	-	-
1060	2-辛烯醛 ^a	2363-89-5	41(55,70)	-	-	-	7.81
1104	(E,Z)-2,4-辛二烯醛 ^a	30361-28-5	81(67,124)	-	-	-	0.08
1121	(E,E)-2,4-辛二烯醛 ^a	5577-44-6	81(67,124)	-	-	-	0.20
1198	(E,Z)-2,4-壬二烯醛 ^a	6750-03-4	81(39,41)	-	-	-	0.45
1218	(E,E)-2,4-壬二烯醛 ^a	5910-87-2	81(39,41)	-	-	-	4.13
1229	3-苯基-2-丙烯醛(肉桂醛) ^a	104-55-2	131(103,132)	-	-	-	-
1245	对异丙基苯甲醛 ^a	122-03-2	133(105,148)	-	-	-	-
1255	(E)-2-癸烯醛 ^a	3913-81-3	43(41,70)	-	-	-	2.05
1266	(E)-3,7-二甲基-2,6-辛二烯醛 ^a	141-27-5	69(41,137)	-	-	-	-
1268	4-甲氧基苯甲醛 ^a	123-11-5	135(77,136)	-	-	-	-
1289	(E)-3-苯基-2-丙烯醛(反式肉桂醛) ^a	14371-10-9	131(103,132)	-	-	-	-
1297	(E,Z)-2,4-癸二烯醛 ^a	2363-88-4	81(41,152)	-	-	-	0.10
1324	(E,E)-2,4-癸二烯醛 ^a	25152-84-5	81(39,152)	-	-	-	0.82
1397	(E,Z)-2,4-十一碳二烯醛 ^a	13162-46-4	81(43,166)	-	-	-	0.06
1424	(E,E)-2,4-十一碳二烯醛 ^a	30361-29-6	81(43,166)	-	-	-	0.51
	酸 (3)						
610	乙酸 ^a	64-19-7	60(43,45)	1.20	12.64	40.12	0.38
719	丙酸 ^a	79-09-4	74(45,73)	-	-	-	-

转下页

接上页

1196	辛酸 ^a	124-07-0	60(73,101)	-	-	-	-
酯(12)							
<600	乙酸乙酯 ^a	141-78-6	61(43,70)	-	31.20	10.89	4.76
845	乙酸乙烯酯	108-05-4	43(42,86)	-	-	-	-
879	乙二醇二乙酸酯	111-55-7	43(73,86)	-	-	0.74	-
1186	辛酸乙酯 ^a	106-32-1	88(101,127)	-	-	-	-
1195	乙酸 4-甲基-2-戊酯 ^a	108-84-9	69(43,87)	-	-	-	-
1274	L-乙酸冰片酯 ^a	5655-61-8	95(93,121)	0.06	0.28	-	-
1342	乙酸松油酯 ^a	80-26-2	121(93,136)	-	-	-	-
1349	二乙酸甘油酯 ^a	25395-31-7	43(103,145)	17.20	-	-	5.62
1371	乙酸 2-异丙烯基-5-甲基-己酯 ^a	25905-14-0	69(69,121)	-	-	-	-
1390	4-甲氧基苯甲酸甲酯 ^a	121-98-2	135(77,166)	-	-	-	0.12
1520	乙酸丁香酚酯 ^a	93-28-7	164(149,131)	-	-	-	-
1656	柠檬酸三乙酯 ^a	77-93-0	157(115,203)	-	-	-	-
酮(7)							
<600	2,3-丁二酮 ^a	431-03-8	86(42,43)	-	-	-	0.02
691	2,3-戊二酮 ^a	600-14-6	43(57,100)	-	-	-	-
709	3-羟基-2-丁酮 ^a	513-86-0	45(43,73)	-	-	-	-
797	4-甲基-3-戊烯-2-酮 ^a	141-79-7	55(83,98)	-	-	-	-
891	2-庚酮 ^a	110-43-0	43(58,71)	-	-	-	-
1038	甲基环戊烯酮醇 ^a	80-71-7	112(55,69)	-	-	-	-
1282	2-十一酮 ^a	112-12-9	58(43,57)	-	-	-	-
酚(4)							
1154	4-(3-羟基-1-丙烯基)苯酚 ^a	3690-05-9	107(94,150)	-	-	-	0.05
1209	乙基麦芽酚 ^a	4940-11-8	140(97,139)	-	-	-	-
1276	4-乙基愈创木酚 ^a	2785-89-9	137(39,152)	-	-	-	-
1361	丁香酚 ^a	97-53-0	164(77,103)	-	-	-	0.15
吡嗪(6)							
732	吡嗪 ^a	290-37-9	80(52,53)	-	-	-	-
918	2,5-二甲基吡嗪 ^a	123-32-0	108(39,42)	0.09	-	-	-
922	2,3-二甲基吡嗪 ^a	5910-89-4	108(40,67)	0.17	-	-	-
1000	2-乙基-3-甲基吡嗪 ^a	15707-23-0	121(67,122)	-	11.28	-	1.54
1002	三甲基吡嗪 ^a	14667-55-1	122(39,42)	-	-	-	-
1034	2-乙酰基吡嗪 ^a	22047-25-2	122(43,80)	-	-	-	0.82
呋喃(酮)(10)							
<600	2-甲基呋喃 ^a	534-22-5	82(53,81)	0.49	0.09	-	-
646	2,3-二氢-5-甲基呋喃	1487-15-6	43(83,84)	2.88	0.00	-	-
811	二氢-2-甲基-3(2H)-呋喃酮 ^a	3188-00-9	43(72,100)	6.21	24.28	32.36	-
845	糠醛 ^a	98-01-1	95(39,96)	-	-	-	-
853	2-烯丙基呋喃	75135-41-0	79(77,108)	-	-	-	0.68
884	2-丁基呋喃 ^a	4466-24-4	81(82,124)	-	-	-	0.13
937	丁内酯 ^a	96-48-0	42(41,86)	50.42	-	-	45.84
983	2,4-二氢-2,5-二甲基-3(2H)-呋喃-3-酮 ^a	10230-62-3	101(55,73)	0.02	-	-	-

转下页

接上页

983	2-戊基呋喃 ^a	3777-69-3	81(82,138)	-	-	-	-
1088	4-羟基-2,5-二甲基-3(2H)-呋喃酮 ^a	3658-77-3	128(42,57)	-	-	-	-
含硫化合物 (29)							
<600	甲硫醇 ^a	74-93-1	47(45,48)	-	-	-	0.21
696	1-巯基-2-丙酮	24653-75-6	90(43,47)	-	-	-	-
732	二甲基二硫 ^a	624-92-0	94(45,79)	-	-	-	-
737	噻唑 ^a	288-47-1	85(57,58)	-	-	-	-
847	3-巯基-2-丁醇 ^a	37877-04-0	45(62,73)	-	-	-	0.07
881	硫氰酸 2-丙烯酸酯 ^a	764-49-8	99(43,72)	-	-	-	-
885	异硫氰酸丙烯酸酯 ^a	57-06-7	99(41,72)	-	-	-	-
908	2-甲基-3-戊硫醇	1639-04-9	74(41,43)	0.52	2.12	4.46	-
915	糠基硫醇 ^a	98-02-2	81(53,114)	-	-	-	-
918	3-甲硫基丙醛 ^a	3268-49-3	48(61,76)	-	-	-	1.42
928	甲基丙基二硫醚 ^a	2179-60-4	80(43,122)	-	-	-	-
947	4-巯基-4-甲基-2-戊酮 ^a	19872-52-7	43(55,75)	-	-	-	-
965	四氢噻吩-3-酮 ^a	1003-04-9	102(45,46)	-	-	-	-
970	二甲基三硫 ^a	3658-80-8	126(45,79)	-	-	-	-
991	3-甲硫基丙醇 ^a	505-10-2	106(57,61)	-	-	-	0.74
1028	2-乙酰基噻唑 ^a	24295-03-2	43(99,127)	11.67	0.60	1.01	-
1029	4-甲基-5-乙烯基噻唑	1759-28-0	125(58,97)	0.73	-	-	-
1078	二烯丙基二硫醚 ^a	2179-57-9	41(81,146)	-	-	-	-
1128	4-甲基-5-甲酰噻唑	82294-70-0	127(45,71)	0.10	-	-	-
1171	甲基(2-甲基-3-呋喃基)二硫醚 ^a	65505-17-1	160(113,112)	-	-	-	-
1188	1-甲硫基-3-戊酮	66735-69-1	61(47,85)	-	-	-	-
1209	2,4,6-三甲基-4H-1,3,5-二噻嗪 ^a	638-17-5	44(71,163)	-	-	-	0.39
1213	甲基糠基二硫醚 ^a	57500-00-2	81(45,53)	-	-	-	-
1230	乙酸 3-巯基己酯 ^a	136954-20-6	116(43,55)	-	-	-	-
1373	二糠基硫醚 ^a	13678-67-6	81(113,194)	-	-	-	-
1380	硫代丙酸糠酯 ^a	59020-85-8	81(53,170)	-	-	-	-
1522	硫代乙酸糠酯 ^a	13678-68-7	81(43,154)	-	-	-	-
1528	双(2-甲基-3-呋喃基)二硫醚 ^a	28588-75-2	113(43,226)	-	-	-	0.54
1695	二糠基二硫醚 ^a	4437-20-1	81(53,82)	-	-	-	-
萜类化合物 (28)							
920	α -蒎烯 ^a	80-56-8	93(92,91)	0.17	0.81	-	0.09
938	蒎烯 ^a	79-92-5	93(79,121)	-	0.55	-	-
966	β -蒎烯 ^a	127-91-3	93(91,69)	0.05	0.23	-	0.04
979	月桂烯 (香叶烯) ^a	123-35-3	93(41,69)	0.02	0.77	-	-
996	α -水芹烯 ^a	99-83-2	93(77,91)	-	-	-	-
996	3-薷烯 ^a	13466-78-9	93(79,91)	-	-	-	-
1006	α -松油烯 ^a	99-86-5	93(91,121)	-	-	-	-
1019	柠檬烯 ^a	138-86-3	68(67,93)	0.15	1.48	0.12	-
1021	β -水芹烯 ^a	555-10-2	93(91,136)	-	-	-	-
1024	1,8-桉树脑 ^a	470-82-6	43(71,81)	0.18	0.04	-	-

转下页

接上页

1049	γ -松油烯 ^a	99-85-4	93(91,136)	0.85	0.40	-	-
1075	异松油烯 ^a	586-62-9	93(91,121)	0.02	0.09	-	-
1149	L-樟脑 ^a	464-49-3	95(41,81)	0.34	1.82	-	-
1180	4-萜烯醇 ^a	562-74-3	71(93,111)	0.03	0.10	-	0.03
1321	δ -榄香烯 ^a	20307-84-0	121(93,136)	-	-	-	-
1333	(-)- α -萜澄茄油烯 ^a	17699-14-8	119(105,161)	-	-	-	-
1358	(+)-环苜蓿烯 ^a	22469-52-9	105(91,161)	-	-	-	-
1364	α -可巴烯 ^a	3856-25-5	119(105,161)	-	-	-	-
1377	β -榄香烯 ^a	515-13-9	81(68,93)	-	-	-	-
1408	β -石竹烯 ^a	87-44-5	93(91,133)	0.04	0.12	-	0.02
1447	α -石竹烯 ^a	6753-98-6	93(121,147)	0.10	0.40	-	-
1469	α -姜黄烯 ^a	644-30-4	119(105,132)	-	-	-	-
1481	姜烯 ^a	495-60-3	93(91,119)	-	-	-	-
1490	γ -杜松烯 ^a	39029-41-9	161(105,204)	-	-	-	-
1492	β -甜没药烯 ^a	495-61-4	69(41,93)	-	-	-	-
1505	δ -杜松烯 ^a	483-76-1	161(134,204)	-	-	-	-
1510	β -倍半水芹烯 ^a	20307-83-9	69(91,93)	-	-	-	-
1512	去氢白菖烯 ^a	483-77-2	159(160,202)	-	-	-	-
其他(5)							
877	3-氨基-4-甲基-4H-1,2,4-三氮唑 ^a	16681-76-8	42(43,98)	0.30	0.34	0.63	-
1191	萘 ^a	91-20-3	128(127,129)	0.15	0.18	-	0.14
1198	4-(2-烯丙基)苯甲醚(龙蒿脑) ^a	140-67-0	148(77,148)	-	-	-	-
1250	(E)-4-(1-烯丙基)苯甲醚(反式茴香脑) ^a	4180-23-8	148(105,148)	-	-	-	-
1288	4-(1-烯丙基)苯甲醚(茴香脑) ^a	104-46-1	148(117,148)	-	-	-	-

RI	化合物	面积百分比/%					
		5	6	7	8	9	10
醇(2)							
<600	乙醇 ^a	-	38.39	0.30	3.08	-	63.21
984	1-辛烯-3-醇 ^a	-	-	-	-	-	0.01
醛(25)							
<600	乙醛 ^a	-	-	-	-	-	-
<600	2-丙烯醛 ^a	-	-	0.38	0.38	-	-
696	戊醛 ^a	-	0.06	-	-	-	-
799	己醛 ^a	-	1.64	2.05	-	-	0.05
860	(E)-2-己烯醛 ^a	0.08	-	-	-	-	-
904	庚醛 ^a	-	0.03	-	-	-	-
972	苯甲醛 ^a	-	-	0.09	-	-	0.08
1003	(E,Z)-2,4-庚二烯醛 ^a	-	-	-	-	-	-
1018	(E,E)-2,4-庚二烯醛 ^a	-	-	1.49	-	-	-
1055	2-羟基苯甲醛 ^a	-	-	0.01	-	-	-
1060	2-辛烯醛 ^a	-	-	-	-	-	-
1104	(E,Z)-2,4-辛二烯醛 ^a	-	-	-	-	-	-
1121	(E,E)-2,4-辛二烯醛 ^a	-	-	-	-	-	-

转下页

接上页

1198	(E,Z)-2,4-壬二烯醛 ^a	-	-	0.03	-	-	-
1218	(E,E)-2,4-壬二烯醛 ^a	-	-	0.36	-	-	-
1229	3-苯基-2-丙烯醛 (肉桂醛) ^a	-	-	-	0.06	-	0.10
1245	对异丙基苯甲醛 ^a	0.10	-	-	-	-	-
1255	(E)-2-癸烯醛 ^a	-	-	-	-	-	-
1266	(E)-3,7-二甲基-2,6-辛二烯醛 ^a	-	-	-	0.09	-	0.06
1268	4-甲氧基苯甲醛 ^a	0.04	-	4.76	0.11	0.21	-
1289	(E)-3-苯基-2-丙烯醛 (反式肉桂醛) ^a	-	-	-	-	-	10.08
1297	(E,Z)-2,4-癸二烯醛 ^a	-	-	-	0.82	0.27	0.30
1324	(E,E)-2,4-癸二烯醛 ^a	-	-	-	10.29	3.70	3.44
1397	(E,Z)-2,4-十一碳二烯醛 ^a	-	-	-	-	-	-
1424	(E,E)-2,4-十一碳二烯醛 ^a	-	-	-	-	-	-
酸 (3)							
610	乙酸 ^a	42.82	0.11	2.37	0.28	1.51	-
719	丙酸 ^a	-	-	-	-	0.27	-
1196	辛酸 ^a	0.23	-	-	-	-	-
酯 (12)							
<600	乙酸乙酯 ^a	-	0.04	-	-	-	-
845	乙酸乙烯酯	0.65	-	-	-	-	-
879	乙二醇二乙酸酯	2.34	-	-	-	-	-
1186	辛酸乙酯 ^a	0.07	-	-	0.02	-	0.00
1195	乙酸 4-甲基-2-戊酯 ^a	-	-	-	-	-	0.01
1274	L-乙酸冰片酯 ^a	-	0.31	-	-	-	0.01
1342	乙酸松油酯 ^a	0.04	-	-	-	-	-
1349	二乙酸甘油酯 ^a	11.95	-	14.32	-	-	-
1371	乙酸 2-异丙基-5-甲基-己酯 ^a	-	-	-	-	-	0.05
1390	4-甲氧基苯甲酸甲酯 ^a	-	-	0.04	-	0.63	-
1520	乙酸丁香酚酯 ^a	-	-	0.06	-	-	-
1656	柠檬酸三乙酯 ^a	-	-	0.81	-	-	-
酮 (7)							
<600	2,3-丁二酮 ^a	0.07	-	0.02	-	-	0.04
691	2,3-戊二酮 ^a	0.52	-	-	-	-	0.40
709	3-羟基-2-丁酮 ^a	-	-	-	-	-	0.56
797	4-甲基-3-戊烯-2-酮 ^a	-	-	-	0.43	2.59	-
891	2-庚酮 ^a	0.55	-	-	-	-	-
1038	甲基环戊烯酮醇 ^a	1.78	-	-	-	-	-
1282	2-十一酮 ^a	0.45	-	-	0.03	-	0.04
酚 (4)							
1154	4-(3-羟基-1-丙烯基)苯酚 ^a	-	0.05	-	0.09	0.08	0.03
1209	乙基麦芽酚 ^a	-	-	-	22.08	26.15	3.37
1276	4-乙基愈创木酚 ^a	-	-	0.54	-	-	-
1361	丁香酚 ^a	0.08	-	0.88	-	-	-
吡嗪 (6)							

转下页

接上页

732	吡嗪 ^a	-	-	-	-	0.25	-
918	2,5-二甲基吡嗪 ^a	-	-	-	-	-	-
922	2,3-二甲基吡嗪 ^a	-	-	-	-	-	-
1000	2-乙基-3-甲基吡嗪 ^a	-	-	-	-	-	-
1002	三甲基吡嗪 ^a	1.51	-	-	-	-	-
1034	2-乙酰基吡嗪 ^a	-	-	8.12	34.59	36.04	5.24
呋喃(酮) (10)							
<600	2-甲基呋喃 ^a	-	-	0.01	-	-	-
646	2,3-二氢-5-甲基呋喃	-	-	-	-	-	-
811	二氢-2-甲基-3(2H)-呋喃酮 ^a	18.19	-	-	-	-	-
845	糠醛 ^a	-	-	50.12	0.35	1.51	0.05
853	2-烯丙基呋喃	-	-	-	-	-	-
884	2-丁基呋喃 ^a	-	-	-	-	-	-
937	丁内酯 ^a	-	-	-	-	-	-
983	2,4-二氢-2,5-二甲基-3(2H)-呋喃-3-酮 ^a	-	-	0.18	-	-	-
983	2-戊基呋喃 ^a	-	0.14	-	-	0.17	-
1088	4-羟基-2,5-二甲基-3(2H)-呋喃酮 ^a	0.16	-	0.03	-	-	-
含硫化合物 (29)							
<600	甲硫醇 ^a	-	-	0.35	0.21	-	-
696	1-巯基-2-丙酮	-	-	0.01	-	-	-
732	二甲基二硫 ^a	0.77	-	0.17	0.13	-	0.04
737	噻唑 ^a	-	-	0.05	-	-	-
847	3-巯基-2-丁醇 ^a	-	-	-	-	-	-
881	硫氰酸 2-丙烯酯 ^a	0.14	-	-	-	-	-
885	异硫氰酸丙烯酯 ^a	3.46	-	-	-	-	-
908	2-甲基-3-戊硫醇	-	-	-	-	-	-
915	糠基硫醇 ^a	-	-	-	-	-	0.04
918	3-甲硫基丙醛 ^a	-	-	3.31	2.41	-	0.17
928	甲基丙基二硫醚 ^a	0.42	-	-	-	-	-
947	4-巯基-4-甲基-2-戊酮 ^a	-	-	-	0.10	0.27	-
965	四氢噻吩-3-酮 ^a	-	-	0.23	-	11.78	-
970	二甲基三硫 ^a	-	-	0.01	-	-	-
991	3-甲硫基丙醇 ^a	-	-	-	-	-	-
1028	2-乙酰基噻唑 ^a	9.54	51.58	2.28	-	-	-
1029	4-甲基-5-乙烯基噻唑	-	-	-	-	-	-
1078	二烯丙基二硫醚 ^a	-	-	0.06	-	-	-
1128	4-甲基-5-甲酰噻唑	-	-	-	-	-	-
1171	甲基(2-甲基-3-呋喃基)二硫醚 ^a	0.02	-	0.15	0.03	-	0.29
1188	1-甲硫基-3-戊酮	-	-	-	-	-	0.95
1209	2,4,6-三甲基-4H-1,3,5-二噻嗪 ^a	-	-	-	-	-	-
1213	甲基糠基二硫醚 ^a	0.26	-	1.64	-	-	-
1230	乙酸 3-巯基己酯 ^a	0.03	-	0.04	-	-	-
1373	二糠基硫醚 ^a	-	-	-	-	-	0.24

转下页

接上页							
1380	硫代丙酸糠酯 ^a	-	-	0.23	-	-	-
1522	硫代乙酸糠酯 ^a	-	-	-	5.88	0.38	-
1528	双(2-甲基-3-呋喃基)二硫醚 ^a	-	-	0.10	5.02	0.23	1.05
1695	二糠基二硫醚 ^a	-	-	0.03	-	-	6.65
萜类化合物 (28)							
920	α -蒎烯 ^a	0.01	0.60	0.32	0.07	-	0.04
938	蒎烯 ^a	-	0.30	0.17	0.13	0.06	0.11
966	β -蒎烯 ^a	0.03	-	-	-	-	0.01
979	月桂烯 (香叶烯) ^a	-	0.03	0.10	0.08	-	-
996	α -水芹烯 ^a	-	-	-	0.05	0.04	-
996	3-蒎烯 ^a	-	0.18	0.29	-	-	-
1006	α -松油烯 ^a	-	0.04	0.09	0.02	-	-
1019	柠檬烯 ^a	0.06	3.72	0.51	0.15	0.05	0.07
1021	β -水芹烯 ^a	-	-	0.27	0.43	0.10	-
1024	1,8-桉树脑 ^a	0.04	1.09	0.05	0.09	0.05	0.06
1049	γ -松油烯 ^a	0.06	0.13	0.08	0.04	-	-
1075	异松油烯 ^a	-	0.07	0.03	0.02	-	-
1149	L-樟脑 ^a	-	1.32	-	-	-	-
1180	4-萜烯醇 ^a	-	0.05	0.02	0.01	-	-
1321	δ -榄香烯 ^a	-	-	0.06	-	-	-
1333	(-)- α -萜澄茄油烯 ^a	0.05	-	-	-	-	-
1358	(+)-环苜蓿烯 ^a	-	-	-	-	-	0.05
1364	α -可巴烯 ^a	-	-	0.07	-	0.02	0.14
1377	β -榄香烯 ^a	-	-	-	-	-	0.03
1408	β -石竹烯 ^a	0.04	0.04	0.21	-	-	-
1447	α -石竹烯 ^a	-	0.10	0.05	-	-	0.01
1469	α -姜黄烯 ^a	-	-	0.14	0.50	0.36	0.90
1481	姜烯 ^a	-	-	0.15	0.86	0.22	0.04
1490	γ -杜松烯 ^a	-	-	-	-	-	0.85
1492	β -甜没药烯 ^a	-	-	0.05	0.18	0.08	1.04
1505	δ -杜松烯 ^a	-	-	0.02	-	-	0.06
1510	β -倍半水芹烯 ^a	-	-	0.04	0.22	0.09	-
1512	去氢白菖烯 ^a	-	-	0.04	-	-	-
其他 (5)							
877	3-氨基-4-甲基-4H-1,2,4-三氮唑 ^a	0.10	-	-	-	-	-
1191	茶 ^a	0.09	-	0.05	0.06	-	-
1198	4-(2-烯丙基)苯甲醚 (龙蒿脑) ^a	0.17	-	0.08	0.02	-	-
1250	(E)-4-(1-烯丙基)苯甲醚 (反式茴香脑) ^a	0.21	-	0.04	0.19	0.37	-
1288	4-(1-烯丙基)苯甲醚 (茴香脑) ^a	2.88	-	1.44	10.42	12.53	-

注: ^a表示该化合物计算得到的 RI 值与“NIST Chemistry WebBook”在线谱库文献报道的 RI 值相匹配。

含硫化合物、醛类化合物和萜类化合物是检出数量最多的种类。Minor^[18]等认为, 鸡肉香气中基本的肉味主要来自于含硫化合物。含硫化合物占香精样品总峰面积的 2.72~51.58%, 且含硫化合物的阈值通常

较低, 尤其是 3 位上含巯基的噻吩、呋喃以及一些有类似结构的硫醚, 一般都具有较强的肉味^[19]。这类物质在香精中添加量一般不高, 如本实验检测到的甲基(2-甲基-3-呋喃基)二硫醚、双(2-甲基-3-呋喃基)二硫、

二糠基硫醚、甲基糠基二硫醚、二糠基二硫醚等，它们在鸡肉香精中占总峰面积(0.02~6.65%)。然而，2-乙酰基噻唑却是含硫化合物中添加量较大的，它是6号香精样品中唯一检出的含硫化合物(51.58%)，2-乙酰基噻唑呈坚果、烤肉、爆米花香气，可为鸡肉香精添加烤香、坚果香^[20]。研究表明，若从鸡肉、鸡汤萃取物中除去羰基化合物，会大大削弱萃取物的特征脂肪香(即鸡香味)，而醛类物质阈值一般都低于其他羰基化合物，故其在鸡肉香气组成中占据重要的地位^[21]。本实验检测到的己醛、庚二烯醛、(E,E)-2,4-庚二烯醛、(E,E)-2,4-壬二烯醛、(E)-2-癸烯醛、癸二烯醛、(E,E)-2,4-癸二烯醛都曾在鸡肉、鸡汤中检测出^[22]，同时也是调配鸡肉香精常用的香原料^[20]。另外，苯甲醛、3-苯基-2-丙烯醛(肉桂醛)、(E)-3-苯基-2-丙烯醛(反式肉桂醛)则是为鸡肉香精提供杏仁、肉桂香的一类物质^[20]。萜类化合物总量占各香精总峰面积的0.12~7.64%，单个萜类物质在鸡肉香精中含量较低，其峰面积百分比均小于4%。萜类化合物主要来源于调配鸡肉香精时添加的各种植物精油，多带有植物特有的草木香、辛香^[20]。

醇和酸类化合物虽然检出的种类不多，但在鸡肉香精的组成中却极为重要。乙醇和乙酸在80%以上的香精样品中均有检出，其中，6号、10号香精中乙醇分别占总峰面积的38.39%和63.21%，而3号、5号香精中乙酸分别占总峰面积的40.12%和42.82%。本实验检测到呋喃(酮)类化合物共10种，占总峰面积0.05~60.03%不等。其中，二氢-2-甲基-3(2H)-呋喃酮，俗称面包酮，具有特殊的朗姆酒香气、坚果香，是常用的焦糖香韵香料^[20]，只存在于A品牌香精中(1、2、

3和5号)。1号和4号样品中 γ -丁内酯分别占总峰面积50.42%、45.84%， γ -丁内酯具有牛奶、奶油香。另外，糠醛是7号香精样品中峰面积最高的化合物(50.12%)，可为鸡肉香精贡献一定的焦糖香、烘烤香气^[20]。

虽然不同鸡肉香精组成差异较大，但同一品牌的香精其所使用的香原料仍存在一定的相似性。如乙酸乙酯、二乙酸甘油酯、二氢-2-甲基-3(2H)-呋喃酮、2-乙酰基噻唑在品牌A的鸡肉香精中出现的次数较多，而2,4-癸二烯醛、(E,E)-2,4-癸二烯醛、4-(3-羟基-1-丙烯基)苯酚、乙基麦芽酚、2-乙酰基吡嗪、糠醛、双(2-甲基-3-呋喃基)二硫醚在品牌C的三款鸡肉香精中都检出。7号香精(品牌B)检出的化合物种类最多(62种)，分布范围广且兼具品牌A与C的特征化合物，且在此前初步的感官评价分析中，我们发现，7号香精样品肉香浓郁、鸡肉脂肪香明显、辅以较为均衡的奶香、焦糖香、土豆香、烟熏香、葱蒜香。故进一步实验通过GC-O分析鸡肉香精组成时，选取7号香精为代表样品。

2.2 鸡肉香精中香气活性化合物的GC-O结果分析

通过GC-O实验，在7号香精中共检出30种香气活性化合物，其中含硫化合物8种、醛类4种、萜类3种、呋喃(酮)2种、酚类2种、酸、酮、酯各1种，另有6个化合物由于含量低于质谱检出限，未能定性(表2)。检出的香气活性物质香气强度都较大，21种化合物的香气强度评分在2分以上。

表2 鸡肉香精中香气活性化合物分析

Table 2 Analysis of the aroma-active compounds in chicken flavor

RI(TR-5 ms)	化合物	香气描述	香气强度
<600	甲硫醇	硫化物样	1.50
<600	2,3-丁二酮	酸奶酪香	1.40
610	乙酸	醋香	1.50
799	己醛	青香、青苹果香	2.13
891	unknown 1	肉香	2.50
918	3-甲硫基丙醛	烤土豆香	2.80
920	α -蒎烯	松香	1.67
938	蒎烯	樟脑香	2.88
970	二甲基三硫	蔬菜香	1.63
983	2,4-二氢-2,5-二甲基-3(2H)-呋喃酮	焦糖香	2.20
1018	(E,E)-2,4-庚二烯醛	青香、油脂香、鸡肉香	1.75
1028	2-乙酰基噻唑	玉米香、饭香	2.83

转下页

接上页

1075	异松油烯	柑橘香	2.25
1078	二烯丙基二硫醚	蒜香、洋葱香	2.50
1088	4-羟基-2,5-二甲基-3(2H)-呋喃酮 (HDMF)	焦糖香	1.80
1121	unknown 2	肉香、辛香	1.50
1171	甲基(2-甲基-3-呋喃基)二硫醚	肉香、坚果香	2.33
1186	unknown 3	果香	2.25
1191	茶	樟脑香	2.42
1213	甲基糠基二硫醚	咖啡香、肉香	2.83
1218	(E,E)-2,4-壬二烯醛	青香、油脂香、鸡肉香	2.50
1268	4-甲氧基苯甲醛 (大茴香醛)	大茴香香味、杏仁香	2.50
1276	4-乙基愈创木酚	丁香香味、辛香	2.50
1288	茴香脑	茴香香味	2.00
1351	unknown 4	油脂香、甜香	1.63
1361	丁香酚	辛香、熏肉香	2.00
1371	unknown 5	米香、青香	1.63
1380	硫代丙酸糠酯	肉香、咖啡香	2.13
1476	unknown 6	油脂香、肉香	2.10
1520	乙酸丁香酚酯	辛香	2.33

甲基(2-甲基-3-呋喃基)二硫醚、甲基糠基二硫醚、硫代丙酸糠酯和 unknown 1、2、6 是主要的肉香贡献化合物,香气强度评分在 1.50~2.83 之间。Grosch^[23] 等的研究表明,2-甲基-3-呋喃硫醇及有相关结构的硫醚、二硫醚等都是煮牛肉风味中的主要肉味贡献化合物。呋喃环的 3 位上含巯基或硫醚基团的化合物阈值非常低 (<1 $\mu\text{g}/\text{kg}$),这类化合物在低浓度呈现肉香和坚果香,当浓度较高时,则表现为令人不悦的硫化物味道^[19],因而,贡献肉味的含硫化合物在鸡肉香精中的含量都较低(表 1)。

(E,E)-2,4-庚二烯醛、(E,E)-2,4-壬二烯醛则分别被感官评价人员认为是具有 1.75 和 2.5 分香气强度的鸡肉香、脂肪香贡献物质。羰基化合物是不饱和酰基脂质的氧化降解产物,是重要的特征脂肪香贡献物质^[24],而一般奇数个碳原子的烯醛类物质阈值比偶数个碳原子的低,其对香气贡献作用更大^[22]。

除了主体肉香、特征脂肪香外,鸡肉香精的主要香气组成还包括辛香、葱蒜香、甜香、酸香、奶香、烘烤香、米香等。它们的主要贡献香气活性化合物分别为:辛香(4-甲氧基苯甲醛、4-乙基愈创木酚、茴香脑、丁香酚、乙酸丁香酚酯)、葱蒜香(甲硫醇、二甲基三硫、二烯丙基二硫醚)、甜香(2,4-二氢-2,5-二甲基-3(2H)-呋喃酮、4-羟基-2,5-二甲基-3(2H)-呋喃酮)、酸香(乙酸)、奶香(2,3-丁二酮)、烘烤香(3-甲硫基丙醛)和米香(2-乙酰基噻唑)。

值得注意的是,在 7 号香精中糠醛占总峰面积的

50.12%,但在 GC-O 实验中,糠醛并未显现出香气活性,这可能是由于糠醛的阈值较高(3000 $\mu\text{g}/\text{kg}$)所导致^[25],二乙酸甘油酯(14.32%)也是如此。另外,由于 2-乙酰基吡嗪(RI=1028)与 2-乙酰基噻唑(RI=1034)在 TR-5 ms 色谱柱上的出峰时间极为靠近,而两者又都是爆玉米花、米香类物质,因此,2-乙酰基吡嗪(8.12%)在 GC-O 实验中可能因为 2-乙酰基噻唑香气的覆盖,也没有被嗅闻人员所感知。

3 结论

3.1 通过 HS-SPME-GC-MS 联用分析三个品牌的 10 种市售液体鸡肉香精组成,共检出挥发性化合物 131 种,不同鸡肉香精中香气组成差异大,检出化合物分别为 11~62 种不等。其中,含硫化合物(29 种)、萜化合物(28 种)及醛类化合物(25 种)的数量最多,另有醇、酸、酯、酮、酚、吡嗪和呋喃(酮)类化合物等。通过 GC-O 技术对风味组成最具代表性的 7 号鸡肉香精样品进行分析,共检出香气活性化合物 30 种。

3.2 鸡肉香精香气组成复杂多变,通常以含硫化合物(巯基酮类、3 位上含巯基或硫醚基团的呋喃和噻吩类物质)为主体肉香、醛类(C6~C11 的烯醛或二烯醛)为主体脂肪香,适当辅以葱蒜香(二甲基三硫、二烯丙基二硫醚)、辛香(3-苯基-2-丙烯醛、4-(1-烯丙基)苯甲醚、4-乙基愈创木酚、丁香酚)、烘烤香(3-甲硫基丙醛、吡嗪类)、甜香(甲基环戊烯醇酮、吡喃

酮、呋喃酮类)、奶香(2,3-丁二酮)及酸香(乙酸)等,即构成一款香气丰满、和谐、逼真的液体鸡肉香精。本研究结果可为鸡肉肉品风味研究、鸡肉香精的调配和生产、鸡肉制品的加香应用等提供研究参考。

参考文献

- [1] 孙宝国.中国咸味香精的现状与发展趋势[J].食品工业科技,2012,33(3):15-18
SUN Bao-guo. The status and development trend of savory flavor in China [J]. Science and Technology of Food Industry, 2012, 33(3): 15-18
- [2] 戴水平.三种不同结构形式鸡肉香精的制备及缓释性能研究[D].上海:华东理工大学,2011
DAI Shui-ping. Study on preparation and release of three different structural forms of chicken flavors [D]. Shanghai: East China University of Science and Technology, 2011
- [3] 蔡培钿,白卫东,钱敏.我国食用香精香料工业的发展现状及对策[J].中国调味品,2010,2:35-38
CAI Pei-dian, BAI Wei-dong, QIAN Min. Food essences and flavorings industry status quo and countermeasures in China [J]. China Condiment, 2010, 2: 35-38
- [4] 曾游,丁怡,彭程.一种液-液萃取测定葡萄酒中主要挥发性成分的快速定量分析方法[J].现代食品科技,2014,30(6):281-288
ZENG You, DING Yi, PENG Cheng. A method for fast quantitative analysis of major wine volatile compounds based on liquid-liquid extraction [J]. Modern Food Science and Technology, 2014, 30(6): 281-288
- [5] Watkins P J, Rose G, Warner R D, et al. A comparison of solid-phase microextraction (SPME) with simultaneous distillation-extraction (SDE) for the analysis of volatile compounds in heated beef and sheep fats [J]. Meat Science, 2012, 91(2): 99-107
- [6] 鲁玉侠,李香莉,卢六美.基于SDE/GC-MS制备的藏酥油香精及其应用[J].现代食品科技,2014,30(2):255-258
LIU Yu-xia, LI Xiang-li, LU Liu-mei. Preparation and application of tibet butter flavor based on SDE/GC-MS analysis [J]. Modern Food Science and Technology, 2014, 30(2): 255-258
- [7] Xiao Z, Wu M, Niu Y, et al. Contribution of chicken base addition to aroma characteristics of Maillard reaction products based on gas chromatography-mass spectrometry, electronic nose, and statistical analysis [J]. Food Science and Biotechnology, 2015, 24(2): 411-419
- [8] 赵谋明,蔡宇,冯云子,等.HS-SPME-GC-MS/O 联用分析酱油中的香气活性化合物[J].现代食品科技,2014,30(11):204-212
ZHAO Mou-ming, CAI Yu, FENG Yun-zi, et al. Identification of aroma-active compounds in soy sauce by HS-SPME-GC-MS/O [J]. Modern Food Science and Technology, 2014, 30(11): 204-212
- [9] 钱敏,白卫东,赵文红,等.SPME-GC-MS 法分析猪肉味香精中的挥发性成分[J].中国食品添加剂,2012,6:141-147
QIAN Min, BAI Wei-dong, ZHAO Wen-hong, et al. Analysis of volatile compounds of pork flavor by SPME-GC-MS [J]. China Food Additives, 2012, 6: 141-147
- [10] 焦慧,刘红,王雪峰,等.4 种市售不同香型肉味香精挥发性风味成分的比较[J].中国调味品,2011,36(9):32-36
JIAO Hui, LIU Hong, WANG Xue-feng, et al. Comparison of volatile compounds in four types of meat flavor [J]. China Condiment, 2011, 36(9): 32-36
- [11] 郭方道,尤健,钟科军,等.固相微萃取和同时蒸馏萃取法提取香精中风味成分[J].中南大学学报:自然科学版,2006,36(5):828-832
GUO Fang-qiu, YOU Jian, ZHONG Ke-jun, et al. Comparison between solid phase micro-extraction and simultaneous distillation extraction methods for analysis of aroma components in tobacco flavor [J]. Journal of Central South University (Science and Technology), 2006, 36(5): 828-832
- [12] 王蓓,许时婴.SPME-GC-MS 对不同牛奶香精和稀奶油中的挥发性风味物质比较[J].食品与发酵工业,2008,34(7):115-121
WANG Pei, XU Shi-ying. Comparison of volatile compounds in different milk flavors and cream by SPME-GC-MS [J]. Food and Fermentation Industries, 2008, 34(7): 115-121
- [13] Gasser U, Grosch W. Primary odorants of chicken broth [J]. European Food Research and Technology, 1990, 190(1): 3-8
- [14] Wettasinghe M, Vasanthan T, Temelli F, et al. Volatile flavour composition of cooked by-product blends of chicken, beef and pork: a quantitative GC-MS investigation [J]. Food Research International, 2001, 34(2): 149-158
- [15] Farkaš P, Sadecka J, Kováč M, et al. Key odourants of pressure-cooked hen meat [J]. Food Chemistry, 1997, 60(4): 617-621
- [16] Siegmund B, Pfannhauser W. Changes of the volatile fraction of cooked chicken meat during chill storing: results obtained by the electronic nose in comparison to GC-MS and GC olfactometry [J]. European Food Research and Technology,

- 1999, 208(5-6): 336-341
- [17] [17] Brunton N P, Cronin D A, Monahan F J. Volatile components associated with freshly cooked and oxidized off-flavours in turkey breast meat [J]. *Flavour and Fragrance Journal*, 2002, 17(5): 327-334
- [18] [18] Minor L J, Pearson A M, Dawson L E, et al. Chicken flavor: The identification of some chemical components and the importance of sulfur compounds in the cooked volatile fraction [J]. *Journal of Food Science*, 1965, 30(4): 686-696
- [19] [19] Mottram D S. Flavour formation in meat and meat products: a review [J]. *Food Chemistry*, 1998, 62(4): 415-424
- [20] 孙宝国. 食用调香术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003
SUN Bao-guo. Food perfumery technology [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2003
- [21] Turan Ayseli M, Filik G, Selli S. Evaluation of volatile compounds in chicken breast meat using simultaneous distillation and extraction with odour activity value [J]. *Journal of Food and Nutrition Research*, 2014, 53(2): 137-142
- [22] [22] Ramaswamy H S, Richards J F. Flavor of poultry meat—a review [J]. *Canadian Institute of Food Science and Technology Journal*, 1982, 15(1): 7-18
- [23] [23] Grosch W, Zeiler-Hilgart G, Cerny C, et al. Studies on the formation of odorants contributing to meat flavours [J]. *Progress in Flavour Precursor Studies*, 1993: 329-342
- [24] [24] Gasser U, Grosch W. Primary odorants of chicken broth [J]. *European Food Research and Technology*, 1990, 190(1): 3-8
- Feng Y Z, Su G W, Zhao H F, et al. Characterisation of aroma profiles of commercial soy sauce by odour activity value and omission test [J]. *Food Chemistry*, 2015, 167: 220-228